

## PCT

### NOTICE INFORMING THE APPLICANT OF THE COMMUNICATION OF THE INTERNATIONAL APPLICATION TO THE DESIGNATED OFFICES

(PCT Rule 47.1(c), first sentence)

From the INTERNATIONAL BUREAU

To:

TAZAWA, Hiroaki  
7F, Daito Bldg.  
7-1, Kasumigaseki 3-chome.  
Chiyoda-ku, Tokyo 100-0013  
JAPON

Date of mailing (day/month/year) <b>08 November 2001 (08.11.01)</b>		
Applicant's or agent's file reference <b>523329B</b>		<b>IMPORTANT NOTICE</b>
International application No. <b>PCT/JP01/01919</b>	International filing date (day/month/year) <b>12 March 2001 (12.03.01)</b>	Priority date (day/month/year) <b>01 May 2000 (01.05.00)</b>
Applicant <b>mitsubishi denki kabushiki kaisha et al</b>		

1. Notice is hereby given that the International Bureau has **communicated**, as provided in Article 20, the international application to the following designated Offices on the date indicated above as the date of mailing of this notice:  
**KR,US**

In accordance with Rule 47.1(c), third sentence, those Offices will accept the present notice as conclusive evidence that the communication of the international application has duly taken place on the date of mailing indicated above and no copy of the international application is required to be furnished by the applicant to the designated Office(s).

2. The following designated Offices have waived the requirement for such a communication at this time:  
**CA,CN,EP,IL,IN**

The communication will be made to those Offices only upon their request. Furthermore, those Offices do not require the applicant to furnish a copy of the international application (Rule 49.1(a-bis)).

3. Enclosed with this notice is a copy of the international application as published by the International Bureau on 08 November 2001 (08.11.01) under No. WO 01/84721

#### REMINDER REGARDING CHAPTER II (Article 31(2)(a) and Rule 54.2)

If the applicant wishes to postpone entry into the national phase until 30 months (or later in some Offices) from the priority date, a **demand for international preliminary examination** must be filed with the competent International Preliminary Examining Authority before the expiration of 19 months from the priority date.

It is the applicant's sole responsibility to monitor the 19-month time limit.

Note that only an applicant who is a national or resident of a PCT Contracting State which is bound by Chapter II has the right to file a demand for international preliminary examination (at present, all PCT Contracting States are bound by Chapter II).

#### REMINDER REGARDING ENTRY INTO THE NATIONAL PHASE (Article 22 or 39(1))

If the applicant wishes to proceed with the international application in the **national phase**, he must, within 20 months or 30 months, or later in some Offices, perform the acts referred to therein before each designated or elected Office.

For further important information on the time limits and acts to be performed for entering the national phase, see the Annex to Form PCT/IB/301 (Notification of Receipt of Record Copy) and the PCT Applicant's Guide, Volume II.

The International Bureau of WIPO 34, chemin des Colombettes 1211 Geneva 20, Switzerland  Facsimile No. (41-22) 740.14.35	Authorized officer  <p style="text-align: center;">J. Zahra</p> Telephone No. (41-22) 338.91.11
--	---

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

## 国際調査報告

(法8条、法施行規則第40、41条)  
〔PCT18条、PCT規則43、44〕

出願人又は代理人 の書類記号 523329B	今後の手続きについては、国際調査報告の送付通知様式(PCT/ISA/220) 及び下記5を参照すること。	
国際出願番号 PCT/JPO1/01919	国際出願日 (日.月.年) 12.03.01	優先日 (日.月.年) 01.05.00
出願人(氏名又は名称) 三菱電機株式会社		

国際調査機関が作成したこの国際調査報告を法施行規則第41条(PCT18条)の規定に従い出願人に送付する。  
この写しは国際事務局にも送付される。

この国際調査報告は、全部で 2 ページである。

☐ この調査報告に引用された先行技術文献の写しも添付されている。

## 1. 国際調査報告の基礎

a. 言語は、下記に示す場合を除くほか、この国際出願がされたものに基づき国際調査を行った。

☐ この国際調査機関に提出された国際出願の翻訳文に基づき国際調査を行った。

b. この国際出願は、ヌクレオチド又はアミノ酸配列を含んでおり、次の配列表に基づき国際調査を行った。

☐ この国際出願に含まれる書面による配列表

☐ この国際出願と共に提出されたフレキシブルディスクによる配列表

☐ 出願後に、この国際調査機関に提出された書面による配列表

☐ 出願後に、この国際調査機関に提出されたフレキシブルディスクによる配列表

☐ 出願後に提出した書面による配列表が出願時における国際出願の開示の範囲を超える事項を含まない旨の陳述書の提出があった。

☐ 書面による配列表に記載した配列とフレキシブルディスクによる配列表に記載した配列が同一である旨の陳述書の提出があった。

2. ☐ 請求の範囲の一部の調査ができない(第I欄参照)。

3. ☐ 発明の単一性が欠如している(第II欄参照)。

4. 発明の名称は ☒ 出願人が提出したものを承認する。

☐ 次に示すように国際調査機関が作成した。

5. 要約は ☒ 出願人が提出したものを承認する。

☐ 第III欄に示されているように、法施行規則第47条(PCT規則38.2(b))の規定により国際調査機関が作成した。出願人は、この国際調査報告の発送の日から1カ月以内にこの国際調査機関に意見を提出することができる。

6. 要約書とともに公表される図は、  
第 5 図とする。 ☒ 出願人が示したとおりである。

☐ なし

☐ 出願人は図を示さなかった。

☐ 本図は発明の特徴を一層よく表している。

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int Cl<sup>7</sup> H03M13/25, 13/27, 13/45  
H04J11/00, H04L27/00

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int Cl<sup>7</sup> H03M13/25, 13/27, 13/45  
H04J11/00, H04L27/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
E, A	JP, 2001-127649, A (三菱電機株式会社) 11. 5月. 2001 (11. 05. 01) 【図1】 (ファミリー なし)	1-10
A	FR, 2756996, A (PHILIPS ELECTRONICS NV) 12. 6 月. 1998 (12. 06. 98) &EP, 848501, A1 &JP, 11-4270, A &US, 6038696, A	1-10

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」 口頭による開示、使用、展示等に関及する文献

「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&amp;」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

23. 05. 01

国際調査報告の発送日

05.06.01

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

近藤 聡

印

5 K

8730

電話番号 03-3581-1101 内線 3555

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局(43) 国際公開日  
2001年11月8日 (08.11.2001)

PCT

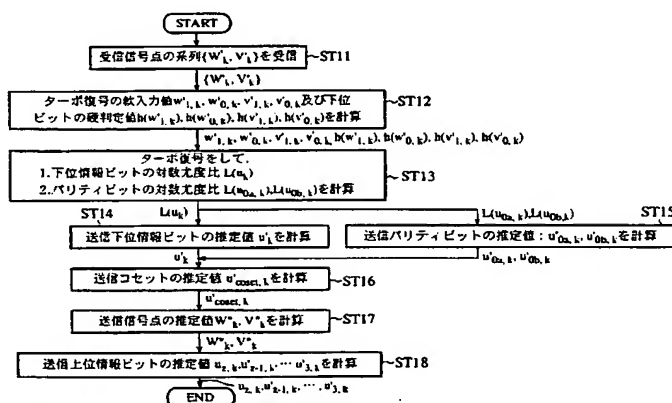
(10) 国際公開番号  
WO 01/84721 A1

- (51) 国際特許分類<sup>7</sup>: H03M 13/25, 13/27, 13/45, H04J 11/00, H04L 27/00
- (21) 国際出願番号: PCT/JP01/01919
- (22) 国際出願日: 2001年3月12日 (12.03.2001)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願2000-132753 2000年5月1日 (01.05.2000) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 三菱電機株式会社 (MITSUBISHI DENKI KABUSHIKI KAISHA) [JP/JP]; 〒100-8310 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および  
(75) 発明者/出願人 (米国についてののみ): 宮田好邦 (MIYATA, Yoshikuni) [JP/JP]. 藤田八郎 (FUJITA, Hachiro) [JP/JP]. 中村隆彦 (NAKAMURA, Takahiko) [JP/JP]. 吉田英夫 (YOSHIDA, Hideo) [JP/JP]; 〒100-8310 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 田澤博昭, 外 (TAZAWA, Hiroaki et al.); 〒100-0013 東京都千代田区霞が関三丁目7番1号 大東ビル7階 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (国内): CA, CN, IL, IN, KR, US.
- (84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).
- 添付公開書類:  
— 国際調査報告書

[続葉有]

(54) Title: METHOD AND APPARATUS FOR DEMODULATION

(54) 発明の名称: 復調方法及び復調装置



(57) Abstract: Lower information bits are estimated from the logarithmic likelihood ratio of the lower information bits. A parity bit is estimated from the logarithmic likelihood ratio of the parity bit. A coset is estimated from the lower information bits and the parity bit. A transmitted signal point is estimated from the coset. Higher information bits are estimated from the transmitted signal point.

ST11...RECEIVE A SERIES OF RECEIVED SIGNAL POINTS (W', V').

ST12...CALCULATE SOFT INPUT VALUES (w', v') AND HARD DECISION VALUES (h(w'), h(v')) OF TURBO DECODING AND HARD DECISION VALUES (h(w'), h(v')) OF LOWER BITS.

ST13...TURBO DECODE AND CALCULATE

1. LOGARITHMIC LIKELIHOOD RATIO L(u\_k) OF LOWER INFORMATION BITS

2. LOGARITHMIC LIKELIHOOD RATIO L(u\_{0k}), L(u\_{0k+1}) OF PARITY BIT

ST14...CALCULATE ESTIMATE u' OF TRANSMITTED LOWER INFORMATION BITS

ST15...CALCULATE ESTIMATES u'\_{0k} AND u'\_{0k+1} OF TRANSMITTED LOWER INFORMATION BITS

ST16...CALCULATE ESTIMATE u'\_{coset, k} OF TRANSMITTED COSET

ST17...CALCULATE ESTIMATE w'', v'' OF TRANSMITTED SIGNAL POINT

ST18...CALCULATE ESTIMATES (u\_{2, k}, u\_{2, k+1}, ..., u\_{3, k}) OF TRANSMITTED UPPER INFORMATION BITS

[続葉有]

WO 01/84721 A1



2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

---

(57) 要約:

下位情報ビットの対数尤度比から下位情報ビットを推定するとともに、パリティビットの対数尤度比からパリティビットを推定し、その下位情報ビットとパリティビットからコセットを推定するコセット推定ステップと、そのコセットから送信信号点を推定し、その送信信号点から上位情報ビットを推定する上位情報ビット推定ステップとを設けるものである。



## 明 細 書

## 復調方法及び復調装置

## 技術分野

この発明は、ターボ符号を要素符号とするトレリス符号化変調方式における復調方法及び復調装置に関するものである。

## 背景技術

第1図は、従来の復調方法を示すフローチャートであり、図において、ST1は受信信号点 $W'_k, V'_k$ の系列 $\{W'_k, V'_k\}$ を受信する処理ブロック、ST2は受信信号点の系列 $\{W'_k, V'_k\}$ からターボ復号の入力値である軟入力値 $w'_{1,k}, w'_{0,k}, v'_{1,k}, v'_{0,k}$ 及び下位ビットの硬判定値 $h(w'_{1,k}), h(w'_{0,k}), h(v'_{1,k}), h(v'_{0,k})$ を計算する処理ブロック、ST3は軟入力値 $w'_{1,k}, w'_{0,k}, v'_{1,k}, v'_{0,k}$ 及び下位ビットの硬判定値 $h(w'_{1,k}), h(w'_{0,k}), h(v'_{1,k}), h(v'_{0,k})$ によるターボ復号を実施して、下位情報ビット $u_k$ の対数尤度比 $L(u_k)$ を計算する処理ブロック、ST4は下位情報ビット $u_k$ の対数尤度比 $L(u_k)$ から送信下位情報ビットの推定値 $u'_k$ を計算する処理ブロック、ST5は受信信号点より上位情報ビットの硬判定を実施して、送信上位情報ビットの推定値 $u'_{z,k}, u'_{z-1,k}, \dots, u'_{3,k}$ を計算する処理ブロックである。

第2図(a)はターボ符号を要素符号とするトレリス符号化変調方式で使用する符号器を示す構成図、第2図(b)は多値直交振幅変調(QAM: Quadrature Amplitude Modulation)

ion) として、16QAM方式を採用した場合の符号器を示す構成図、第2図(c)はマルチキャリア変復調方式におけるトーン構成を示す説明図である。図において、1は2ビットの情報ビットを入力して、2ビットの情報ビットと2ビットの冗長ビットを出力するターボ符号器、2はターボ符号器1が出力するビット系列を変換するコンバージョン、3はコンバージョン2により変換されたビット系列を信号点に変換するマッパーである。

第3図は第2図のターボ符号器1を示す構成図であり、図において、11は再帰的組織畳込み符号器、12、13はインタリーバ、14は再帰的組織畳込み符号器、15はデインタリーバである。

次に動作について説明する。

ターボ符号器1では、下位情報ビット $u_2$ の系列 $u_{2,1}, u_{2,2}, \dots, u_{2,k}, \dots, u_{2,N}$ 及び下位情報ビット $u_1$ の系列 $u_{1,1}, u_{1,2}, \dots, u_{1,k}, \dots, u_{1,N}$ を、時刻1, 2,  $\dots$ , k,  $\dots$ , Nの順序で逐次的に入力する。

即ち、ターボ符号器1の再帰的組織畳込み符号器11は、下位情報ビット $u_2$ の系列及び下位情報ビット $u_1$ の系列を逐次入力して符号化し、パリティビット $u_{0a}$ の系列 $u_{0a,1}, u_{0a,2}, \dots, u_{0a,k}, \dots, u_{0a,N}$ を出力する。

ターボ符号器1の再帰的組織畳込み符号器14は、インタリーバ12、13により並び替えられた下位情報ビット $u_2$ の系列及び下位情報ビット $u_1$ の系列を逐次入力して符号化し、パリティビット $u_{0b}$ の系列 $u_{0b,1}, u_{0b,2}, \dots, u_{0b,k}, \dots, u_{0b,N}$ を出力する。

なお、再帰的組織畳込み符号器14が出力するパリティビット $u_{0b}$ の系列は、デインタリーバ15により元の時刻に合わせられた系列になる。

コンバージョン 2 は、ターボ符号器 1 から下位情報ビット  $u_1$ ,  $u_2$  の系列と、パリティビット  $u_{0a}$ ,  $u_{0b}$  の系列を入力すると、受信側において、各送信データに対する訂正能力が均一になるように以下の演算処理を行う。

$$\begin{cases} W_{1,k} = u_{2,k} + u_{1,k} + u_{0a,k} + u_{0b,k} \\ W_{0,k} = u_{2,k} + u_{1,k} \\ V_{1,k} = u_{2,k} + u_{0a,k} \\ V_{0,k} = u_{2,k} \end{cases} \quad (1)$$

ここで、 $w$ ,  $v$  は第 2 図 (c) に示す各トーンに対応する。

第 4 図は各種ディジタル変調の信号点配置を示す説明図である。特に第 4 図 (a) は 4 相 PSK (Phase Shift Keying) 方式の信号点配置、第 4 図 (b) は 16 QAM 方式の信号点配置、第 4 図 (c) は 64 QAM 方式の信号点配置である。図において、A, B, C, D はコセットであり、コセットはコンバージョンの後に決定される。

下位情報ビット  $u_1$ ,  $u_2$  とパリティビット  $u_{0a}$ ,  $u_{0b}$  から  $w_1$ ,  $w_0$ ,  $v_1$ ,  $v_0$  が決定されるが、コセットは第 4 図 (d) に示すように、 $(w_1, w_0)$  または  $(v_1, v_0)$  から決定される。

即ち、近傍の 4 点の決定をコセットの選択によって行う。

マッパー 3 は、コセットが決定されると、そのコセットと上位情報ビットを入力し、第 4 図の信号点配置に基づいて送信信号点  $W$  または  $V$  を決定する。

一方、受信側では、受信信号点が  $W'$  または  $V'$  である場合、硬判定を実施することにより情報ビット系列 (送信データ) として最も確からしいデータを推定する。

即ち、受信信号点との距離が最も近い信号点を送信データとして判定する。しかしながら、受信信号点 $W'$ または $V'$ に着目すると、第4図(a), (b), (c)のいずれの場合においても、受信信号点に最も近い4点は、コセットA, B, C, Dであることが分かる。

そこで、従来例では、最も特性が劣化する可能性のある4つの信号点(信号点間距離が最も近い4点)を判別する下位2ビットに対して、優れた誤り訂正能力を有するターボ符号化を実施する。そして、復調器ではターボ復号により軟判定を実施し、送信下位情報ビットの推定を行う。

一方、特性が劣化する可能性の低い近傍4信号点以外を判別するその他の上位ビット(例えば、第2図(c)の上位情報ビット系列 $u_6, u_5, u_4, u_3$ に対応)の信号点に対しては、復調器が受信信号点をそのまま硬判定を実施することで、送信上位情報ビットの推定を行う( $(w_3, w_2), (v_3, v_2)$ を判別する)。

以下、従来の復調方法を具体的に説明する。

まず、ステップST1において、受信信号点 $W'_k, V'_k$ の系列 $\{W'_k, V'_k\}$ を受信する。ただし、 $k$ はターボ符号器における時刻を示すものとする。

次に、ステップST2では、受信信号点の系列 $\{W'_k, V'_k\}$ からターボ復号の入力値である軟入力値 $w'_{1,k}, w'_{0,k}, v'_{1,k}, v'_{0,k}$ 及び下位ビットの硬判定値 $h(w'_{1,k}), h(w'_{0,k}), h(v'_{1,k}), h(v'_{0,k})$ を計算する。下位ビットの硬判定は、例えば、第8図(b)の場合、受信信号点26から最も近いコセットはBであるので、第8図(d)より $h(w'_{1,k}) = 0, h(w'_{0,k}) = 1$ となる。

ここで、第8図(b)の送信信号点25及び受信信号点26に着目す

る。ただし、Wの信号点空間における送信信号点25のX-Y座標を(X, Y)、W'の信号点空間における受信信号点26のX-Y座標を(X', Y')とする。

このとき、軟入力値は送信信号点25と受信信号点26の2乗ユークリッド距離27として、以下のように計算する。

$$d^2(W', W) = (X' - X)^2 + (Y' - Y)^2 \quad (2)$$

次にステップST3において、軟入力値 $w'_{1,k}$ ,  $w'_{0,k}$ ,  $v'_{1,k}$ ,  $v'_{0,k}$ 及び下位ビットの硬判定値 $h(w'_{1,k})$ ,  $h(w'_{0,k})$ ,  $h(v'_{1,k})$ ,  $h(v'_{0,k})$ によるターボ復号を実施して、下位情報ビット $u_k$ の対数尤度比 $L(u_k)$ を計算する。

次にステップST4において、ステップST3で計算された下位情報ビット $u_k$ の対数尤度比 $L(u_k)$ から送信下位情報ビットの推定値 $u'_k$ を計算する。

一方、ステップST5では、受信信号点26より上位情報ビットの硬判定を実施して、送信上位情報ビットの推定値 $u'_{z,k}$ ,  $u'_{z-1,k}$ , ...,  $u'_3,k$ を計算する。

従来の復調方法は以上のように構成されているので、送信下位情報ビットを正確に推定することができるが、受信信号点26より上位情報ビットの硬判定を実施して、送信上位情報ビットを推定するため、送信上位情報ビットを誤訂正することがある課題があった。

即ち、第8図(a)の送信信号点20を送信して受信信号点21を受信する場合を想定すると、第8図(a)の実線で硬判定を実施する関係上、本来的には、上位情報ビットの判定領域を上位情報ビット判定領域23と判定するところを、上位情報ビット判定領域24と判定するため、送信上位情報ビットの誤訂正が発生する。

この発明は上記のような課題を解決するためになされたもので、上位

情報ビットを正確に推定して、上位情報ビットの復号誤り確率を低減することができる復調方法及び復調装置を得ることを目的とする。

## 発明の開示

この発明に係る復調方法は、対数尤度比計算ステップにより計算された下位情報ビットの対数尤度比から下位情報ビットを推定するとともに、対数尤度比計算ステップにより計算されたパリティビットの対数尤度比からパリティビットを推定し、その下位情報ビットとパリティビットからコセットを推定するコセット推定ステップと、そのコセット推定ステップにより推定されたコセットから送信信号点を推定し、その送信信号点から上位情報ビットを推定する上位情報ビット推定ステップとを設けたものである。

このことによって、上位情報ビットを正確に推定して、上位情報ビットの復号誤り確率を低減することができるという効果を奏する。

この発明に係る復調方法は、ターボ復号の軟入力値として、対数尤度比計算ステップが信号点空間における信号点配置の閾値からのユークリッド距離を計算するようにしたものである。

このことによって、ターボ復号の軟入力値を簡単に求めることができるという効果を奏する。

この発明に係る復調方法は、対数尤度比計算ステップが軟入力値の線形和でトレリスの枝メトリックを計算するターボ復号を実施して、下位情報ビットの対数尤度比とパリティビットの対数尤度比を計算するようにしたものである。

このことによって、計算の簡略化を図ることができるという効果を奏する。

この発明に係る復調方法は、対数尤度比計算ステップが、コンバージ

ョンが含まれているターボ復号を実施するようにしたものである。

このことによって、コンバージョンが含まれている場合でも、上位情報ビットの復号誤り確率を低減することができるという効果を奏する。

この発明に係る復調方法は、コンバージョンが含まれているターボ復号の軟入力値として、対数尤度比計算ステップが信号点空間における信号点配置の閾値からのユークリッド距離を計算し、その軟入力値の線形和でトレリスの枝メトリックを計算するターボ復号を実施して、下位情報ビットの対数尤度比とパリティビットの対数尤度比を計算するようにしたものである。

このことによって、コンバージョンが含まれている場合でも、上位情報ビットの復号誤り確率を低減することができるという効果を奏する。

この発明に係る復調装置は、対数尤度比計算手段により計算された下位情報ビットの対数尤度比から下位情報ビットを推定するとともに、対数尤度比計算手段により計算されたパリティビットの対数尤度比からパリティビットを推定し、その下位情報ビットとパリティビットからコセットを推定するコセット推定手段と、そのコセット推定手段により推定されたコセットから送信信号点を推定し、その送信信号点から上位情報ビットを推定する上位情報ビット推定手段とを設けたものである。

このことによって、上位情報ビットを正確に推定して、上位情報ビットの復号誤り確率を低減することができるという効果を奏する。

この発明に係る復調装置は、ターボ復号の軟入力値として、対数尤度比計算手段が信号点空間における信号点配置の閾値からのユークリッド距離を計算するようにしたものである。

このことによって、ターボ復号の軟入力値を簡単に求めることができるという効果を奏する。

この発明に係る復調装置は、対数尤度比計算手段が軟入力値の線形和

でトレリスの枝メトリックを計算するターボ復号を実施して、下位情報ビットの対数尤度比とパリティビットの対数尤度比を計算するようにしたものである。

このことによって、計算の簡略化を図ることができるという効果を奏する。

この発明に係る復調装置は、対数尤度比計算手段が、コンバージョンが含まれているターボ復号を実施するようにしたものである。

このことによって、コンバージョンが含まれている場合でも、上位情報ビットの復号誤り確率を低減することができるという効果を奏する。

この発明に係る復調装置は、コンバージョンが含まれているターボ復号の軟入力値として、対数尤度比計算手段が信号点空間における信号点配置の閾値からのユークリッド距離を計算し、その軟入力値の線形和でトレリスの枝メトリックを計算するターボ復号を実施して、下位情報ビットの対数尤度比とパリティビットの対数尤度比を計算するようにしたものである。

このことによって、コンバージョンが含まれている場合でも、上位情報ビットの復号誤り確率を低減することができるという効果を奏する。

## 図面の簡単な説明

第1図は、従来の復調方法を示すフローチャートである。

第2図は、(a)がターボ符号を要素符号とするトレリス符号化変調方式で使用する符号器を示す構成図、(b)が多値直交振幅変調QAMとして、16QAM方式を採用した場合の符号器を示す構成図、(c)がマルチキャリア変復調方式におけるトーン構成を示す説明図である。

第3図は、第2図のターボ符号器を示す構成図である。



第4図は、各種ディジタル変調の信号点配置を示す説明図である。

第5図は、この発明の実施の形態1による復調方法を示すフローチャートである。

第6図は、復調方法を実施する際の復号誤り確率を示す説明図である。

第7図は、この発明の実施の形態2による復調装置を示す構成図である。

第8図は、上位情報ビット判定領域等を説明する説明図である。

#### 発明を実施するための最良の形態

以下、この発明をより詳細に説明するために、この発明を実施するための最良の形態について、添付の図面に従ってこれを説明する。

##### 実施の形態1.

第5図はこの発明の実施の形態1による復調方法を示すフローチャートであり、図において、ST11は受信信号点 $W'_k$ 、 $V'_k$ の系列 $\{W'_k, V'_k\}$ を受信する受信ステップ、ST12は受信信号点の系列 $\{W'_k, V'_k\}$ からターボ復号の入力値である軟入力値 $w'_{1,k}$ 、 $w'_{0,k}$ 、 $v'_{1,k}$ 、 $v'_{0,k}$ 及び下位ビットの硬判定値 $h(w'_{1,k})$ 、 $h(w'_{0,k})$ 、 $h(v'_{1,k})$ 、 $h(v'_{0,k})$ を計算する計算ステップ、ST13は軟入力値 $w'_{1,k}$ 、 $w'_{0,k}$ 、 $v'_{1,k}$ 、 $v'_{0,k}$ 及び下位ビットの硬判定値 $h(w'_{1,k})$ 、 $h(w'_{0,k})$ 、 $h(v'_{1,k})$ 、 $h(v'_{0,k})$ によるターボ復号を実施して、下位情報ビットの対数尤度比 $L(u_k)$ とパリティビットの対数尤度比 $L(u_{0a,k})$ 、 $L(u_{0b,k})$ を計算する計算ステップである。なお、受信ステップST11、計算ステップST12及び計算ステップST13から対数尤度比計算ステップが構成されている。

S T 1 4 は下位情報ビットの対数尤度比  $L(u_k)$  から下位情報ビットの推定値  $u'_k$  を計算する推定値計算ステップ、S T 1 5 はパリティビットの対数尤度比  $L(u_{0a,k})$  ,  $L(u_{0b,k})$  からパリティビットの推定値  $u'_{0a,k}$  ,  $u'_{0b,k}$  を計算する推定値計算ステップ、S T 1 6 は下位情報ビットの推定値  $u'_k$  とパリティビットの推定値  $u'_{0a,k}$  ,  $u'_{0b,k}$  からコセットの推定値  $u'_{\text{co set},k}$  を計算する推定値計算ステップである。なお、推定値計算ステップ S T 1 4 ~ S T 1 6 からコセット推定ステップが構成されている。

S T 1 7 はコセットの推定値  $u'_{\text{co set},k}$  から送信信号点の推定値  $W''_k$  ,  $V''_k$  を計算する推定値計算ステップ、S T 1 8 は送信信号点の推定値  $W''_k$  ,  $V''_k$  から上位情報ビットの推定値  $u'_{z,k}$  ,  $u'_{z-1,k}$  ,  $\dots$  ,  $u'_{3,k}$  を計算する推定値計算ステップである。なお、推定値計算ステップ S T 1 7 , S T 1 8 から上位情報ビット推定ステップが構成されている。

次に動作について説明する。

まず、多値直交振幅変調 Q A M された送信信号点  $W_k$  ,  $V_k$  に雑音が加わり、ステップ S T 1 1 において、受信信号点  $W'_k$  ,  $V'_k$  の系列  $\{W'_k, V'_k\}$  を受信する。ただし、 $k$  はターボ符号器における時刻を示すものとする。

次に、ステップ S T 1 2 では、受信信号点の系列  $\{W'_k, V'_k\}$  からターボ復号の入力値である軟入力値  $w'_{1,k}$  ,  $w'_{0,k}$  ,  $v'_{1,k}$  ,  $v'_{0,k}$  及び下位ビットの硬判定値  $h(w'_{1,k})$  ,  $h(w'_{0,k})$  ,  $h(v'_{1,k})$  ,  $h(v'_{0,k})$  を計算する。

$$\begin{cases} w'_{1,k} = d'_{0,X,k} \\ w'_{0,k} = d'_{0,Y,k} \\ v'_{1,k} = d'_{1,X,k} \\ v'_{0,k} = d'_{1,Y,k} \end{cases} \quad (3)$$

ただし、 $d'_{0,X,k}$ 、 $d'_{1,X,k}$ は第8図(c)の閾値からのユークリッド距離28に相当し、 $d'_{0,Y,k}$ 、 $d'_{1,Y,k}$ は第8図(c)の閾値からのユークリッド距離29に相当する。

次にステップST13において、軟入力値 $w'_{1,k}$ 、 $w'_{0,k}$ 、 $v'_{1,k}$ 、 $v'_{0,k}$ 及び下位ビットの硬判定値 $h(w'_{1,k})$ 、 $h(w'_{0,k})$ 、 $h(v'_{1,k})$ 、 $h(v'_{0,k})$ によるターボ復号を実施して、下位情報ビット $u_k$ の対数尤度比 $L(u_k)$ を計算する。ただし、下位情報ビット $u_k$ は、第3図のターボ符号器に入力される $u_{2,k}$ 、 $u_{1,k}$ の組 $(u_{2,k}, u_{1,k})$ を示すものとする。

具体的には、次のようにして下位情報ビット $u_k$ の対数尤度比 $L(u_k)$ を計算する。

例えば、 $u_{2,k}=0$ 、 $u_{1,k}=0$ （以下、 $u_k=00$ と表記する）を基準の情報ビットとすると、受信信号点 $W'_k$ 、 $V'_k$ の系列 $\{W'_k, V'_k\}$ を受信すると、送信された情報ビットが $u_k=00$ である対数尤度比 $L(u_k=00)$ は、下記のように計算する。

$$L(u_k=00) = \ln \frac{\Pr(u_k=00|\{W'_k, V'_k\})}{\Pr(u_k=00|\{W'_k, V'_k\})} \quad (4)$$

この場合、 $L(u_k=00)=0$ になるが、それは $u_k=00$ を基準の情報ビットとするためである。

同様に、受信信号点  $W'_k, V'_k$  の系列  $\{W'_k, V'_k\}$  を受信したとき、送信された情報ビットが  $u_k = 01$  である対数尤度比  $L(u_k = 01)$ 、 $u_k = 10$  である対数尤度比  $L(u_k = 10)$ 、 $u_k = 11$  である対数尤度比  $L(u_k = 11)$  は、それぞれ下記のように計算する。

$$L(u_k = 01) = \ln \frac{\Pr(u_k = 01 | \{W'_k, V'_k\})}{\Pr(u_k = 00 | \{W'_k, V'_k\})} \quad (5)$$

$$L(u_k = 10) = \ln \frac{\Pr(u_k = 10 | \{W'_k, V'_k\})}{\Pr(u_k = 00 | \{W'_k, V'_k\})} \quad (6)$$

$$L(u_k = 11) = \ln \frac{\Pr(u_k = 11 | \{W'_k, V'_k\})}{\Pr(u_k = 00 | \{W'_k, V'_k\})} \quad (7)$$

ここで、 $\Pr(u_k = 00 | \{W'_k, V'_k\})$  は、受信信号点  $W'_k, V'_k$  の系列  $\{W'_k, V'_k\}$  を受信したとき、送信された情報ビットが  $u_{2,k} = 0, u_{1,k} = 0$  である条件付確率を表す。

同様に、 $\Pr(u_k = 01 | \{W'_k, V'_k\})$  は、受信信号点  $W'_k, V'_k$  の系列  $\{W'_k, V'_k\}$  を受信したとき、送信された情報ビットが  $u_{2,k} = 0, u_{1,k} = 1$  である条件付確率を表し、 $\Pr(u_k = 10 | \{W'_k, V'_k\})$  は、受信信号点  $W'_k, V'_k$  の系列  $\{W'_k, V'_k\}$  を受信したとき、送信された情報ビットが  $u_{2,k} = 1, u_{1,k} = 0$  である条件付確率を表し、 $\Pr(u_k = 11 | \{W'_k, V'_k\})$  は、受信信号点  $W'_k, V'_k$  の系列  $\{W'_k, V'_k\}$  を受信したとき、送信された情報ビットが  $u_{2,k} = 1, u_{1,k} = 1$  である条件付確率を表す。

また、ステップ S T 1 3 では、パリティビットの対数尤度比  $L(u_{0a,k}), L(u_{0b,k})$  も計算する。なお、下位情報ビットがターボ符号化されているが、送信信号点にはターボ符号化で生成されたパリティ

ビットも含まれている。

具体的には、ターボ符号器 1 の再帰的組織畳込み符号器 1 1 から出力されたパリティビット  $u_{0a,k}$  に対する対数尤度比  $L(u_{0a,k})$  と、再帰的組織畳込み符号器 1 4 から出力されたパリティビット  $u_{0b,k}$  に対する対数尤度比  $L(u_{0b,k})$  とを下記のように計算する。

$$L(u_{0a,k}) = \ln \frac{\Pr(u_{0a,k} = 1 | \{W'_k, V'_k\})}{\Pr(u_{0a,k} = 0 | \{W'_k, V'_k\})} \quad (8)$$

$$L(u_{0b,k}) = \ln \frac{\Pr(u_{0b,k} = 1 | \{W'_k, V'_k\})}{\Pr(u_{0b,k} = 0 | \{W'_k, V'_k\})} \quad (9)$$

ここで、 $\Pr(u_{0a,k} = 0 | \{W'_k, V'_k\})$  は、受信信号点  $W'_k, V'_k$  の系列  $\{W'_k, V'_k\}$  を受信したとき、送信されたパリティビットが  $u_{0a,k} = 0$  である条件付確率を表し、 $\Pr(u_{0a,k} = 1 | \{W'_k, V'_k\})$  は、受信信号点  $W'_k, V'_k$  の系列  $\{W'_k, V'_k\}$  を受信したとき、送信されたパリティビットが  $u_{0a,k} = 1$  である条件付確率を表す。

同様に、 $\Pr(u_{0b,k} = 0 | \{W'_k, V'_k\})$  は、受信信号点  $W'_k, V'_k$  の系列  $\{W'_k, V'_k\}$  を受信したとき、送信されたパリティビットが  $u_{0b,k} = 0$  である条件付確率を表し、 $\Pr(u_{0b,k} = 1 | \{W'_k, V'_k\})$  は、受信信号点  $W'_k, V'_k$  の系列  $\{W'_k, V'_k\}$  を受信したとき、送信されたパリティビットが  $u_{0b,k} = 1$  である条件付確率を表す。

次にステップ S T 1 4 において、下位情報ビットの対数尤度比  $L(u_k = 00)$ 、 $L(u_k = 01)$ 、 $L(u_k = 10)$ 、 $L(u_k = 11)$  から下位情報ビット  $u_k$  の推定値  $u'_k$  を計算する。

具体的には、下位情報ビットの対数尤度比  $L(u_k = 00)$ ,  $L(u_k = 01)$ ,  $L(u_k = 10)$ ,  $L(u_k = 11)$  の中で、最大値を取る対数尤度比に対応する情報ビットを下位情報ビット  $u_k$  の推定値  $u'_k$  とする。

一方、ステップ S T 15 では、ステップ S T 14 の推定値計算ステップと同時に実行することにより、パリティビットの対数尤度比  $L(u_{0a,k})$ ,  $L(u_{0b,k})$  からパリティビットの推定値  $u'_{0a,k}$ ,  $u'_{0b,k}$  を計算する。

具体的には、例えば、対数尤度比  $L(u_{0a,k}) > 0$  であれば、パリティビットの推定値  $u'_{0a,k}$  を “1” と判定し、対数尤度比  $L(u_{0a,k}) \leq 0$  であれば、パリティビットの推定値  $u'_{0a,k}$  を “0” と判定する。

同様に、対数尤度比  $L(u_{0b,k}) > 0$  であれば、パリティビットの推定値  $u'_{0b,k}$  を “1” と判定し、対数尤度比  $L(u_{0b,k}) \leq 0$  であれば、パリティビットの推定値  $u'_{0b,k}$  を “0” と判定する。

次にステップ S T 16 において、下位情報ビットの推定値  $u'_k$  とパリティビットの推定値  $u'_{0a,k}$ ,  $u'_{0b,k}$  からコセットの推定値  $u'_{coset,k}$  を計算する。

例えば、第2図 (a), (b) のコンバージョン2が式 (1) で表せる場合、下記の計算を実行することにより、 $w''_{1,k}$ ,  $w''_{0,k}$ ,  $v''_{1,k}$ ,  $v''_{0,k}$  を計算する。

$$\begin{cases} w''_{1,k} = u'_{2,k} + u'_{1,k} + u'_{0a,k} + u'_{0b,k} \\ w''_{0,k} = u'_{2,k} + u'_{1,k} \\ v''_{1,k} = u'_{2,k} + u'_{0a,k} \\ v''_{0,k} = u'_{2,k} \end{cases} \quad (10)$$

そして、第4図(d)の表を参照してコセットの推定値  $u'_{\text{co set}, k}$  を求める。

次にステップST17において、コセットの推定値  $u'_{\text{co set}, k}$  から送信信号点の推定値  $W''_k, V''_k$  を計算する。なお、送信信号点の推定値  $W''_k, V''_k$  は、コセットの推定値  $u'_{\text{co set}, k}$  の中で、受信信号点  $W'_k, V'_k$  に最も近い点とする。

最後にステップST18において、送信信号点の推定値  $W''_k, V''_k$  から上位情報ビットの推定値  $u'_{z, k}, u'_{z-1, k}, \dots, u'_{3, k}$  を計算する。

以上から明らかなように、この実施の形態1によれば、下位情報ビットの対数尤度比から下位情報ビットを推定するとともに、パリティビットの対数尤度比からパリティビットを推定し、その下位情報ビットとパリティビットからコセットを推定するコセット推定ステップと、そのコセットから送信信号点を推定し、その送信信号点から上位情報ビットを推定する上位情報ビット推定ステップとを設けたので、上位情報ビットを正確に推定して、上位情報ビットの復号誤り確率を低減することができる効果を奏する。

ただし、従来法と比べて計算量が増大する部分がある。即ち、復号の繰り返しの最終回において、パリティビットの対数尤度比  $L(u_{0a, k}), L(u_{0b, k})$  を求め、送信パリティビットの推定値  $u'_{0a, k}, u'_{0b, k}$  と、送信コセットの推定値  $u'_{\text{co set}, k}$  を求める計算が増えるが、これは繰り返しの最終回に行われる計算であるため計算量の増分は小さい。

ここで、第6図は実施の形態1及び従来例における復調方法を実施する際の復号誤り確率を示す説明図である。第6図の横軸は1情報ビット当たりの送信電力対雑音電力比 ( $E_b/N_0$ ) であり、縦軸は上位情報

ビットのビット誤り確率である。

従来例と実施の形態 1 における復調方法では、下位情報ビットの復号誤り確率は等しいが、第 6 図からも明らかなように、従来例と比べて実施の形態 1 の復調方法では、上位情報ビットの復号誤り確率が大幅に低減されている。

上位情報ビットの復号誤り確率が大幅に低減される理由は次の通りである。

第 8 図 (a) の送信信号点 20 を送信して、受信信号点 21 を受信したが、ターボ復号で下位情報ビットを正しく推定した場合を想定すると、上述したように、従来例では、第 8 図 (a) の実線で硬判定を実施する関係上、本来的には、上位情報ビットの判定領域を上位情報ビット判定領域 23 と判定するところを、上位情報ビット判定領域 24 と判定するため、送信上位情報ビットの誤訂正が発生する。

これに対して実施の形態 1 では、コセットが C である信号点の中から、受信信号点に最も近い点を送信信号点と推定するが、コセット C の中で受信信号点に最も近い点が送信信号点 20 であるので、送信信号点 20 を正確に推定することができる。このため、上位情報ビットの判定領域を上位情報ビット判定領域 23 と判定することができるため、上位情報ビットを正しく推定することができる。よって、従来法では誤訂正してしまうケースでも、本方式では正しく訂正できるケースがあるため、上位情報ビットの復号誤り確率を低減することができる。

実施の形態 2 .

第 7 図はこの発明の実施の形態 2 による復調装置を示す構成図であり、図において、30 は対数尤度比計算手段、31 は受信信号点  $W'_k$  ,  $V'_k$  の系列  $\{W'_k, V'_k\}$  からターボ復号の入力値である軟入力値



$w'_{1,k}$ ,  $w'_{0,k}$ ,  $v'_{1,k}$ ,  $v'_{0,k}$  及び下位ビットの硬判定値  $h(w'_{1,k})$ ,  $h(w'_{0,k})$ ,  $h(v'_{1,k})$ ,  $h(v'_{0,k})$  を計算する軟入力値計算器、32は軟入力値  $w'_{1,k}$ ,  $w'_{0,k}$ ,  $v'_{1,k}$ ,  $v'_{0,k}$  及び下位ビットの硬判定値  $h(w'_{1,k})$ ,  $h(w'_{0,k})$ ,  $h(v'_{1,k})$ ,  $h(v'_{0,k})$  によるターボ復号を実施して、下位情報ビットの対数尤度比  $L(u_k)$  と再帰的組織畳込み符号器11により生成されたパリティビットの対数尤度比  $L(u_{0a,k})$  を計算する復号器である。

33は軟入力値  $w'_{1,k}$ ,  $w'_{0,k}$ ,  $v'_{1,k}$ ,  $v'_{0,k}$  及び下位ビットの硬判定値  $h(w'_{1,k})$ ,  $h(w'_{0,k})$ ,  $h(v'_{1,k})$ ,  $h(v'_{0,k})$  から受信振幅値  $L_{ch}(u_k)$  を計算する受信振幅値計算器、34は下位情報ビットの対数尤度比  $L(u_k)$  から受信振幅値  $L_{ch}(u_k)$  と事前確率比  $L_a(u_k)$  を減算して、外部情報確率比  $L_e(u_k)$  を出力する減算器、35は再帰的組織畳込み符号器14と同期を図るため外部情報確率比  $L_e(u_k)$  の並び替えを実施して、事前確率比  $L_a(u_k)$  として出力するインタリーバ、36は再帰的組織畳込み符号器14と同期を図るため軟入力値  $w'_{1,k}$ ,  $w'_{0,k}$ ,  $v'_{1,k}$ ,  $v'_{0,k}$  及び下位ビットの硬判定値  $h(w'_{1,k})$ ,  $h(w'_{0,k})$ ,  $h(v'_{1,k})$ ,  $h(v'_{0,k})$  の並び替えを実施するインタリーバ、37は再帰的組織畳込み符号器14と同期を図るため受信振幅値  $L_{ch}(u_k)$  の並び替えを実施するインタリーバである。

38は軟入力値  $w'_{1,k}$ ,  $w'_{0,k}$ ,  $v'_{1,k}$ ,  $v'_{0,k}$  及び下位ビットの硬判定値  $h(w'_{1,k})$ ,  $h(w'_{0,k})$ ,  $h(v'_{1,k})$ ,  $h(v'_{0,k})$  によるターボ復号を実施して、下位情報ビットの対数尤度比  $L(u_k)$  と再帰的組織畳込み符号器14により生成されたパリティビットの対数尤度比  $L(u_{0b,k})$  を計算する復号器、39は下位情報

ビットの対数尤度比  $L(u_k)$  から受信振幅値  $L_{ch}(u_k)$  と事前確率比  $L_a(u_k)$  を減算して、外部情報確率比  $L_e(u_k)$  を出力する減算器、40は再帰的組織畳込み符号器11と同期を図るため外部情報確率比  $L_e(u_k)$  の並び替えを実施して、事前確率比  $L_a(u_k)$  として出力するデインタリーバ、41は初期状態ではI側に接続され、2回目以降の復号ではII側に接続されるスイッチである。

42はコセット推定手段、43は復号器32により計算されたパリティビットの対数尤度比  $L(u_{0a,k})$  に基づいて再帰的組織畳込み符号器11のパリティビットを判定し、元の送信パリティの推定値  $u'_{0a,k}$  を計算する判定器、44は復号器38により計算された下位情報ビットの対数尤度比  $L(u_k)$  およびパリティビットの対数尤度比  $L(u_{0b,k})$  に基づいて下位情報ビットおよび再帰的組織畳込み符号器14のパリティビットを判定し、元の送信下位情報ビットの推定値  $u'_k (= u'_{2,k}, u'_{1,k})$  および元の送信パリティの推定値  $u'_{0b,k}$  を計算する判定器、45は下位情報ビットの推定値  $u'_k (= u'_{2,k}, u'_{1,k})$  とパリティビットの推定値  $u'_{0a,k}, u'_{0b,k}$  からコセットの推定値  $u'_{coset,k}$  を計算する判定器、46は受信信号点  $W'_k, V'_k$  とコセットの推定値  $u'_{coset,k}$  から上位情報ビットの推定値  $u'_z, u'_{z-1}, \dots, u'_3$  を計算する判定器（上位情報ビット推定手段）である。

次に動作について説明する。

軟入力値計算器31は、受信信号点  $W'_k, V'_k$  の系列  $\{W'_k, V'_k\}$  を受信すると、式(3)を計算して、ターボ復号の入力値である軟入力値  $w'_{1,k}, w'_{0,k}, v'_{1,k}, v'_{0,k}$  及び下位ビットの硬判定値  $h(w'_{1,k}), h(w'_{0,k}), h(v'_{1,k}), h(v'_{0,k})$  を求める。

復号器 3 2 は、軟入力値計算器 3 1 が軟入力値  $w'_{1,k}$ ,  $w'_{0,k}$ ,  $v'_{1,k}$ ,  $v'_{0,k}$  及び下位ビットの硬判定値  $h(w'_{1,k})$ ,  $h(w'_{0,k})$ ,  $h(v'_{1,k})$ ,  $h(v'_{0,k})$  を計算し、スイッチ 4 1 が事前確率比  $L_a(u_k)$  を出力すると、軟入力値  $w'_{1,k}$ ,  $w'_{0,k}$ ,  $v'_{1,k}$ ,  $v'_{0,k}$  及び下位ビットの硬判定値  $h(w'_{1,k})$ ,  $h(w'_{0,k})$ ,  $h(v'_{1,k})$ ,  $h(v'_{0,k})$  によるターボ復号を実施して、下位情報ビットの対数尤度比  $L(u_k)$  を計算する。ただし、スイッチ 4 1 は初期状態では I 側に接続されているので、1 回目の復号では初期値 0 を復号器 3 2 に出力する。2 回目以降の復号では II 側に接続されるので、デインタリーバ 4 0 が出力する事前確率比  $L_a(u_k)$  を復号器 3 2 に出力する。

具体的には、式 (4) ~ 式 (7) を計算することにより、下位情報ビットの対数尤度比  $L(u_k)$  を求める。

受信振幅値計算器 3 3 は、軟入力値計算器 3 1 が軟入力値  $w'_{1,k}$ ,  $w'_{0,k}$ ,  $v'_{1,k}$ ,  $v'_{0,k}$  及び下位ビットの硬判定値  $h(w'_{1,k})$ ,  $h(w'_{0,k})$ ,  $h(v'_{1,k})$ ,  $h(v'_{0,k})$  を計算すると、軟入力値  $w'_{1,k}$ ,  $w'_{0,k}$ ,  $v'_{1,k}$ ,  $v'_{0,k}$  及び下位ビットの硬判定値  $h(w'_{1,k})$ ,  $h(w'_{0,k})$ ,  $h(v'_{1,k})$ ,  $h(v'_{0,k})$  から受信振幅値  $L_{ch}(u_k)$  を計算する。即ち、下記の式 (11) ~ (14) を計算することにより、受信振幅値  $L_{ch}(u_k)$  を求める。

。

$$L_{ch}(u_k = 00) \equiv \ln \frac{\Pr(W'_k, V'_k | u_k = 00)}{\Pr(W'_k, V'_k | u_k = 00)} \quad (11)$$

$$L_{ch}(u_k = 01) \equiv \ln \frac{\Pr(W'_k, V'_k | u_k = 01)}{\Pr(W'_k, V'_k | u_k = 00)} \quad (12)$$

$$L_{ch}(u_k = 10) \equiv \ln \frac{\Pr(W'_k, V'_k | u_k = 10)}{\Pr(W'_k, V'_k | u_k = 00)} \quad (13)$$

$$L_{ch}(u_k = 11) \equiv \ln \frac{\Pr(W'_k, V'_k | u_k = 11)}{\Pr(W'_k, V'_k | u_k = 00)} \quad (14)$$

ただし、 $L_{ch}(u_k = 00) = 0$ となるが、これは $u_k = 00$ を基準の情報ビットとするためである。

減算器34は、下位情報ビットの対数尤度比 $L(u_k)$ から受信振幅値 $L_{ch}(u_k)$ と事前確率比 $L_a(u_k)$ を減算して、外部情報確率比 $L_e(u_k)$ を出力する。即ち、下記の式(15)～(18)を計算することにより、外部情報確率比 $L_e(u_k)$ を求める。

$$L_e(u_k = 00) = L(u_k = 00) - L_{ch}(u_k = 00) - L_a(u_k = 00) \quad (15)$$

$$L_e(u_k = 01) = L(u_k = 01) - L_{ch}(u_k = 01) - L_a(u_k = 01) \quad (16)$$

$$L_e(u_k = 10) = L(u_k = 10) - L_{ch}(u_k = 10) - L_a(u_k = 10) \quad (17)$$

$$L_e(u_k = 11) = L(u_k = 11) - L_{ch}(u_k = 11) - L_a(u_k = 11) \quad (18)$$

ただし、繰り返し1回目の復号においては、事前確率比として、初期値 $L_a(u_k = 00) = L_a(u_k = 01) = L_a(u_k = 10) = L_a(u_k = 11) = 0$ が入力される。

インタリーバ 35 は、減算器 34 が外部情報確率比  $L_e(u_k)$  を出力すると、再帰的組織畳込み符号器 14 と同期を図るため外部情報確率比  $L_e(u_k)$  の並び替えを実施し、並び替え後の外部情報確率比  $L_e(u_k)$  を事前確率比  $L_a(u_k)$  として出力する。

インタリーバ 36 は、軟入力値計算器 31 が軟入力値  $w'_{1,k}$ ,  $w'_{0,k}$ ,  $v'_{1,k}$ ,  $v'_{0,k}$  及び下位ビットの硬判定値  $h(w'_{1,k})$ ,  $h(w'_{0,k})$ ,  $h(v'_{1,k})$ ,  $h(v'_{0,k})$  を出力すると、再帰的組織畳込み符号器 14 と同期を図るため軟入力値  $w'_{1,k}$ ,  $w'_{0,k}$ ,  $v'_{1,k}$ ,  $v'_{0,k}$  及び下位ビットの硬判定値  $h(w'_{1,k})$ ,  $h(w'_{0,k})$ ,  $h(v'_{1,k})$ ,  $h(v'_{0,k})$  の並び替えを実施する。

また、インタリーバ 37 は、受信振幅値計算器 33 が受信振幅値  $L_{ch}(u_k)$  を出力すると、再帰的組織畳込み符号器 14 と同期を図るため受信振幅値  $L_{ch}(u_k)$  の並び替えを実施する。

復号器 38 は、インタリーバ 36 が並び替え後の軟入力値  $w'_{1,k}$ ,  $w'_{0,k}$ ,  $v'_{1,k}$ ,  $v'_{0,k}$  及び下位ビットの硬判定値  $h(w'_{1,k})$ ,  $h(w'_{0,k})$ ,  $h(v'_{1,k})$ ,  $h(v'_{0,k})$  を出力し、インタリーバ 35 が事前確率比  $L_a(u_k)$  を出力すると、復号器 32 と同様に軟入力値  $w'_{1,k}$ ,  $w'_{0,k}$ ,  $v'_{1,k}$ ,  $v'_{0,k}$  及び下位ビットの硬判定値  $h(w'_{1,k})$ ,  $h(w'_{0,k})$ ,  $h(v'_{1,k})$ ,  $h(v'_{0,k})$  によるターボ復号を実施して、下位情報ビットの対数尤度比  $L(u_k)$  を計算する。

具体的には、式 (4) ~ 式 (7) を計算することにより、下位情報ビットの対数尤度比  $L(u_k)$  を求める。

減算器 39 は、下位情報ビットの対数尤度比  $L(u_k)$  から受信振幅値  $L_{ch}(u_k)$  と事前確率比  $L_a(u_k)$  を減算して、外部情報確率比  $L_e(u_k)$  を出力する。即ち、減算器 34 と同様に、式 (15) ~ (

18) を計算することにより、外部情報確率比  $L_e(u_k)$  を求める。

デインタリーバ40は、減算器39が外部情報確率比  $L_e(u_k)$  を出力すると、再帰的組織畳込み符号器11と同期を図るため外部情報確率比  $L_e(u_k)$  の並び替えを実施し、外部情報確率比  $L_e(u_k)$  を事前確率比  $L_a(u_k)$  として復号器32にフィードバックする。

以降、対数尤度比計算手段30は、上記の処理を所定の回数に亘って繰り返し実行することにより、より精度の高い対数尤度比を算出する。

繰り返しの最終回では、復号器32が下位情報ビットの対数尤度比  $L(u_k)$  の他に、式(8)を計算することにより、再帰的組織畳込み符号器11により生成されたパリティビットの対数尤度比  $L(u_{0a,k})$  を求める。

また、繰り返しの最終回では、復号器38が下位情報ビットの対数尤度比  $L(u_k)$  の他に、式(9)を計算することにより、再帰的組織畳込み符号器14により生成されたパリティビットの対数尤度比  $L(u_{0b,k})$  を求める。

判定器43は、復号器32がパリティビットの対数尤度比  $L(u_{0a,k})$  を計算すると、パリティビットの対数尤度比  $L(u_{0a,k})$  に基づいて再帰的組織畳込み符号器11のパリティビットを判定し、元の送信パリティの推定値  $u'_{0a,k}$  を計算する。

具体的には、例えば、対数尤度比  $L(u_{0a,k}) > 0$  であれば、パリティビットの推定値  $u'_{0a,k}$  を“1”と判定し、対数尤度比  $L(u_{0a,k}) \leq 0$  であれば、パリティビットの推定値  $u'_{0a,k}$  を“0”と判定する。

判定器44は、復号器38がパリティビットの対数尤度比  $L(u_{0b,k})$  を計算すると、パリティビットの対数尤度比  $L(u_{0b,k})$  に基づいて再帰的組織畳込み符号器14のパリティビットを判定し、元の送信

パリティの推定値  $u'_{ob,k}$  を計算する。

具体的には、例えば、対数尤度比  $L(u_{ob,k}) > 0$  であれば、パリティビットの推定値  $u'_{ob,k}$  を“1”と判定し、対数尤度比  $L(u_{ob,k}) \leq 0$  であれば、パリティビットの推定値  $u'_{ob,k}$  を“0”と判定する。

また、判定器 44 は、下位情報ビットの対数尤度比  $L(u_k)$  を出力すると、下位情報ビットの対数尤度比  $L(u_k)$  から下位情報ビット  $u_k$  の推定値  $u'_k$  を計算する。

即ち、対数尤度比  $L(u_k = 00)$ ,  $L(u_k = 01)$ ,  $L(u_k = 10)$ ,  $L(u_k = 11)$  を出力すると、この4値の中で最大値を取る対数尤度比に対応する情報ビットを下位情報ビット  $u_k$  の推定値  $u'_k$  とする。

判定器 45 は、判定器 44 により計算された下位情報ビットの推定値  $u'_k (= u'_{2,k}, u'_{1,k})$  と、判定器 43, 44 により計算されたパリティビットの推定値  $u'_{oa,k}$ ,  $u'_{ob,k}$  とからコセットの推定値  $u'_{coset,k}$  を計算する。

例えば、第2図(a), (b)のコンバージョン2が式(1)で表せる場合、式(10)の計算を実行することにより、 $w''_{1,k}$ ,  $w''_{0,k}$ ,  $v''_{1,k}$ ,  $v''_{0,k}$  を計算し、第4図(d)の表を参照してコセットの推定値  $u'_{coset,k}$  を求める。

判定器 46 は、判定器 45 がコセットの推定値  $u'_{coset,k}$  を計算すると、受信信号点  $w'_k$ ,  $v'_k$  とコセットの推定値  $u'_{coset,k}$  から送信信号点の推定値  $w''_k$ ,  $v''_k$  を計算する。なお、送信信号点の推定値  $w''_k$ ,  $v''_k$  は、コセットの推定値  $u'_{coset,k}$  の中で、受信信号点  $w'_k$ ,  $v'_k$  に最も近い点とする。

そして、判定器 46 は、送信信号点の推定値  $w''_k$ ,  $v''_k$  から上位

情報ビットの推定値  $u'_{z,k}$ ,  $u'_{z-1,k}$ , ...,  $u'_{3,k}$  を計算する。

これにより、上記実施の形態 1 と同様に、上位情報ビットを正確に推定して、上位情報ビットの復号誤り確率を低減することができる効果を奏する。

### 実施の形態 3 .

上記実施の形態 2 では、対数尤度比計算手段 30 が下位情報ビットの対数尤度比とパリティビットの対数尤度比を計算するものについて示したが、軟入力値の線形和でトレリスの枝メトリックを計算するターボ復号を実施して、下位情報ビットの対数尤度比とパリティビットの対数尤度比を計算するようにしてもよい。

即ち、この実施の形態 3 では、軟入力値計算器 31 における軟入力値の算出方法および枝メトリック計算方法を改良するものについて示している。

従来例では、第 8 図 (b) に示すように、受信信号点 26 から送信信号点 25 までの 2 乗ユークリッド距離 27 を計算することにより軟入力値を求め、上記実施の形態 1, 2 では、第 8 図 (c) に示すように、受信信号点 26 から閾値までのユークリッド距離 28, 29 を計算することにより軟入力値を求めている。

第 8 図 (b) の原理を数式で表すと下記のようなになる。ただし、 $W$  の信号点空間における送信信号点 25 の  $X-Y$  座標を  $(X, Y)$ 、 $W'$  の信号点空間における受信信号点 26 の  $X-Y$  座標を  $(X', Y')$  とする。

このとき、軟入力値は送信信号点 25 と受信信号点 26 の 2 乗ユークリッド距離 27 として、以下のように表せる。



$$d^2(W', W) = (X' - X)^2 + (Y' - Y)^2 \quad (19)$$

通信路の雑音として、加法的白色ガウス雑音を仮定した場合、2次元正規分布の確率密度関数より、送信信号点25のときに受信信号点26となる尤度は以下のように表せる。

$$\Pr(W'|W) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left\{-\frac{d^2(W', W)}{2\sigma^2}\right\} \quad (20)$$

下位情報ビットの対数尤度比の計算式およびパリティビットの対数尤度比の計算式には、尤度  $\Pr(W'|W)$  の項が含まれている。式(4)～(7)において、式(20)の対数尤度をとった項が含まれることとなる。よって、式(4)～(7)において下位情報ビットの対数尤度比およびパリティビットの対数尤度比の計算をする際には、式(20)を以下のように簡略化して計算することが可能となる。

$$\Pr(W'|W) \approx d'(W', W) \quad (21)$$

ただし、 $d'(W', W)$ を以下のように表す。

$$d'(W', W) = h'(w'_{1,k}, w_{1,k}) \cdot d'_x + h'(w'_{0,k}, w_{0,k}) \cdot d'_y \quad (22)$$

$$h'(w'_{1,k}, w_{1,k}) = \begin{cases} +1: h(w'_{1,k}) = w_{1,k} \\ -1: h(w'_{1,k}) \neq w_{1,k} \end{cases} \quad (23)$$

また、 $d'_x$ は第8図(c)の閾値からのユークリッド距離28に対応し、 $d'_y$ は第8図(c)の閾値からのユークリッド距離29に対応

する。

このように、2乗ユークリッド距離27を、信号点空間における信号点配置の閾値からのユークリッド距離28、29に変換することにより、軟入力値の劣化を招くことなく、小さい計算量で求めることが可能となる。

この実施の形態3では、軟入力値計算器31における計算量の低減に加えて、復号器32、38におけるトレリスの枝メトリック計算の低減を図る方法を提供する。

即ち、復号器32、38において、Log-MAP復号を想定すると、トレリスの枝メトリック $\gamma(S_{j,k}, u_{2,k}, u_{1,k}, u_{0a,k})$ を以下のように計算する。

$$\begin{aligned}
 & \gamma(S_{j,k}, u_{2,k}, u_{1,k}, u_{0a,k}) \\
 &= \Pr(W'_k, V'_k, S_{j,k}, u_{2,k}, u_{1,k}, u_{0a,k}) \\
 &= \sum_{u_{0b,k}=0}^1 \Pr(W'_k | CS_{u_{0b,k}}) \cdot \Pr(V'_k | CS_{u_{0b,k}}) \cdot \Pr(u_{2,k}, u_{1,k}) \\
 &\approx d'(W'_k, CS_{u_{0b,k}=0}) + d'(V'_k, CS_{u_{0b,k}=0}) \\
 &\quad + d'(W'_k, CS_{u_{0b,k}=1}) + d'(V'_k, CS_{u_{0b,k}=1}) + L_a(u_{2,k}, u_{1,k})
 \end{aligned}
 \tag{24}$$

ここで、 $CS_{u_{0b,k}=0}$ は、 $u_{2,k}, u_{1,k}, u_{0a,k}$ を固定して、 $u_{0b,k}=0$ と仮定する場合のコセットを示す。

同様に、 $CS_{u_{0b,k}=1}$ は、 $u_{2,k}, u_{1,k}, u_{0a,k}$ を固定して、 $u_{0b,k}=1$ と仮定する場合のコセットを示す。

$\Pr(W'_k, V'_k, S_{j,k}, u_{2,k}, u_{1,k}, u_{0a,k})$ は、下位情報ビットが $u_{2,k}, u_{1,k}$ 、送信パリティビットが $u_{0a,k}$ 、トレリ

スの状態ノードが  $S_{j,k}$ 、受信信号点が  $W'_k$ 、 $V'_k$  である結合確率を示す。

$Pr(W'_k | CS_{u_{0b},k})$  は、コセットが  $CS_{u_{0b},k}$  である信号点を送信する場合に受信信号点  $W'_k$  を受け取る尤度を示す。

$Pr(V'_k | CS_{u_{0b},k})$  は、コセットが  $CS_{u_{0b},k}$  である信号点を送信する場合に受信信号点  $V'_k$  を受け取る尤度を示す。

$Pr(u_{2,k}, u_{1,k})$  は、下位情報ビット  $u_{2,k}$ 、 $u_{1,k}$  の事前確率を示す。

式(24)を計算することにより、信号点空間のユークリッド距離と事前確率比の線形和で、枝メトリックを計算することが可能となる。

これにより、この実施の形態3によれば、通信路値の計算を簡略化することができる。また、枝メトリックの計算を簡略化することができる。したがって、復調装置の回路規模を縮小することができる。

#### 実施の形態4.

上記実施の形態1～3では、第2図(a)，(b)の符号器を想定し、コンバージョン2が搭載された符号器に適用するものについて示したが、コンバージョン2が搭載されていない符号器に適用するようにしてもよい。

コンバージョンがない場合、例えば、下位情報ビット及びパリティビットを式(25)のように割り振った場合、枝メトリックは以下のよう

$$\begin{cases} w_{1,k} = u_{2,k} \\ w_{0,k} = u_{0a,k} \\ v_{1,k} = u_{1,k} \\ v_{0,k} = u_{0b,k} \end{cases} \quad (25)$$

$$\begin{aligned} \gamma(s_{j,k}, u_{2,k}, u_{1,k}, u_{0a,k}) \\ \approx h'(w'_{1,k}, u_{2,k}) \cdot d''(w'_{1,k}) + h'(v'_{1,k}, u_{1,k}) \cdot d''(v'_{1,k}) \\ + h'(w'_{0,k}, u_{0a,k}) \cdot d''(w'_{0,k}) \\ + \frac{1}{2} \{ h'(1, u_{2,k}) \cdot L_a(u_{2,k}) + h'(1, u_{1,k}) \cdot L_a(u_{1,k}) \} \end{aligned} \quad (26)$$

ここで、 $d''(w'_{1,k})$ 、 $d''(v'_{1,k})$ は第4図(c)の閾値からのユークリッド距離28に対応し、 $d''(w'_{0,k})$ 、 $d''(v'_{0,k})$ は閾値からのユークリッド距離29に対応する。また、 $L_a(u_{2,k})$ 、 $L_a(u_{1,k})$ はそれぞれ下位情報ビット $u_{2,k}$ 、 $u_{1,k}$ の事前確率である。

また、上記実施の形態1～3では、第2図(c)のようなマルチキャリア変復調方式を用いる通信に適用する前提で述べているが、前記変復調方式に限定されるものでないことは言うまでもない。

さらに、第2図(c)では、ターボ符号の1時点の情報ビット、パリティビットを2トーンに振り分けているが、その振り分け方は、これに限定されるものではない。

また、上記実施の形態1～3では、変調方式として、16QAM方式を一例として説明を行ったが、これに限らず、その他の変調方式(25

6 Q A M等)を用いた場合においても、同様の効果を奏することができる。

#### 産業上の利用可能性

以上のように、この発明に係る復調方法及び復調装置は、ターボ符号を要素符号とするトレリス符号化変調方式において、上位情報ビットを正確に推定して、上位情報ビットの復号誤り確率を低減するのに適している。

## 請 求 の 範 囲

1. 受信信号点の系列を受信するとターボ復号の軟入力値を計算し、その軟入力値によるターボ復号を実施して、下位情報ビットの対数尤度比とパリティビットの対数尤度比を計算する対数尤度比計算ステップと、上記対数尤度比計算ステップにより計算された下位情報ビットの対数尤度比から下位情報ビットを推定するとともに、上記対数尤度比計算ステップにより計算されたパリティビットの対数尤度比からパリティビットを推定し、その下位情報ビットとパリティビットからコセットを推定するコセット推定ステップと、上記コセット推定ステップにより推定されたコセットから送信信号点を推定し、その送信信号点から上位情報ビットを推定する上位情報ビット推定ステップとを備えた復調方法。

2. 対数尤度比計算ステップは、ターボ復号の軟入力値として、信号点空間における信号点配置の閾値からのユークリッド距離を計算することを特徴とする請求の範囲第1項記載の復調方法。

3. 対数尤度比計算ステップは、軟入力値の線形和でトレリスの枝メトリックを計算するターボ復号を実施して、下位情報ビットの対数尤度比とパリティビットの対数尤度比を計算することを特徴とする請求の範囲第2項記載の復調方法。

4. 対数尤度比計算ステップは、コンバージョンが含まれているターボ復号を実施することを特徴とする請求の範囲第1項記載の復調方法。

5. 対数尤度比計算ステップは、コンバージョンが含まれているター

ボ復号の軟入力値として、信号点空間における信号点配置の閾値からのユークリッド距離を計算し、その軟入力値の線形和でトレリスの枝メトリックを計算する上記ターボ復号を実施して、下位情報ビットの対数尤度比とパリティビットの対数尤度比を計算することを特徴とする請求の範囲第1項記載の復調方法。

6. 受信信号点の系列を受信するとターボ復号の軟入力値を計算し、その軟入力値によるターボ復号を実施して、下位情報ビットの対数尤度比とパリティビットの対数尤度比を計算する対数尤度比計算手段と、上記対数尤度比計算手段により計算された下位情報ビットの対数尤度比から下位情報ビットを推定するとともに、上記対数尤度比計算手段により計算されたパリティビットの対数尤度比からパリティビットを推定し、その下位情報ビットとパリティビットからコセットを推定するコセット推定手段と、上記コセット推定手段により推定されたコセットから送信信号点を推定し、その送信信号点から上位情報ビットを推定する上位情報ビット推定手段とを備えた復調装置。

7. 対数尤度比計算手段は、ターボ復号の軟入力値として、信号点空間における信号点配置の閾値からのユークリッド距離を計算することを特徴とする請求の範囲第6項記載の復調装置。

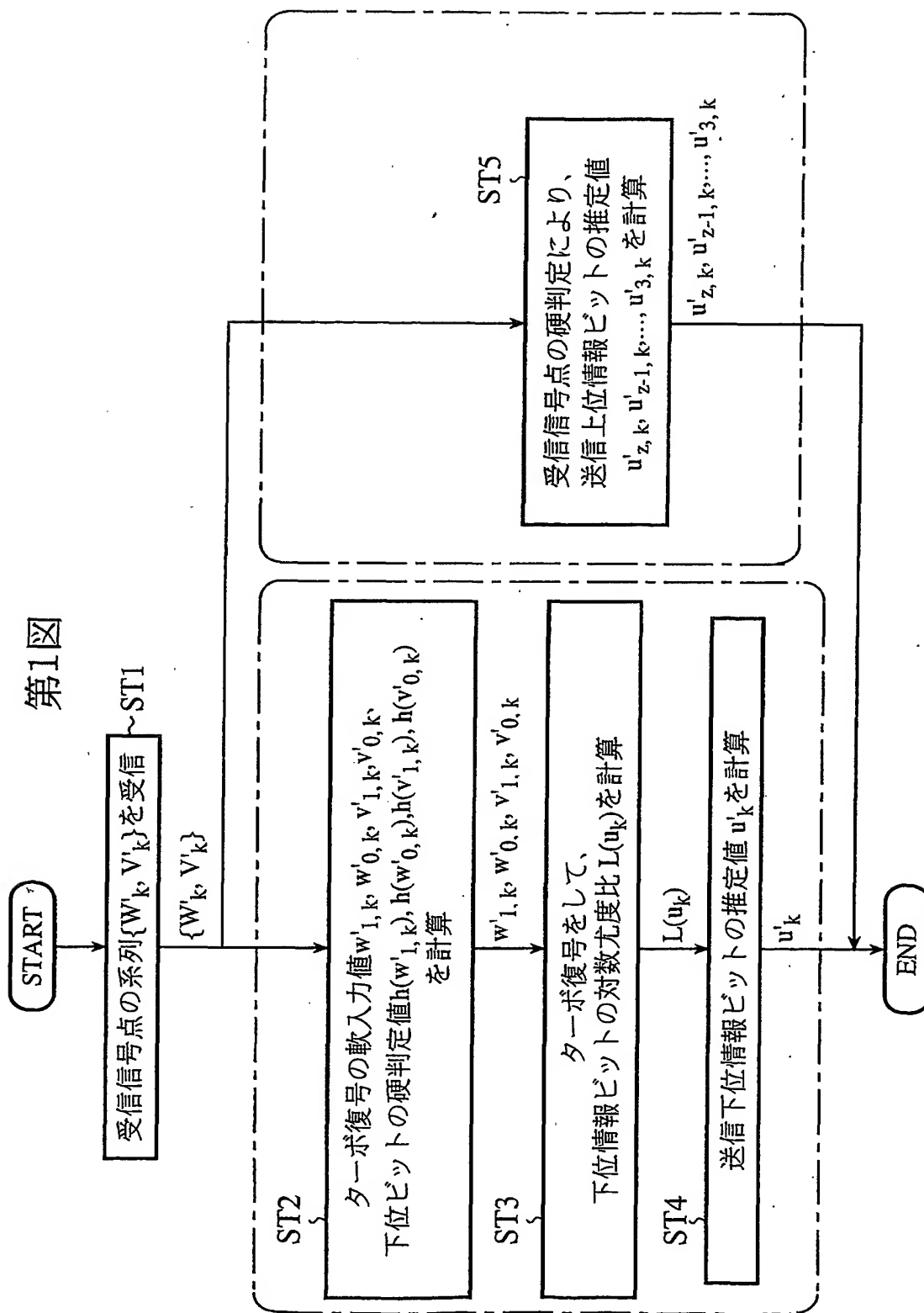
8. 対数尤度比計算手段は、軟入力値の線形和でトレリスの枝メトリックを計算するターボ復号を実施して、下位情報ビットの対数尤度比とパリティビットの対数尤度比を計算することを特徴とする請求の範囲第7項記載の復調装置。

9. 対数尤度比計算手段は、コンバージョンが含まれているターボ復号を実施することを特徴とする請求の範囲第6項記載の復調装置。

10. 対数尤度比計算手段は、コンバージョンが含まれているターボ復号の軟入力値として、信号点空間における信号点配置の閾値からのユークリッド距離を計算し、その軟入力値の線形和でトレリスの枝メトリックを計算する上記ターボ復号を実施して、下位情報ビットの対数尤度比とパリティビットの対数尤度比を計算することを特徴とする請求の範囲第6項記載の復調装置。

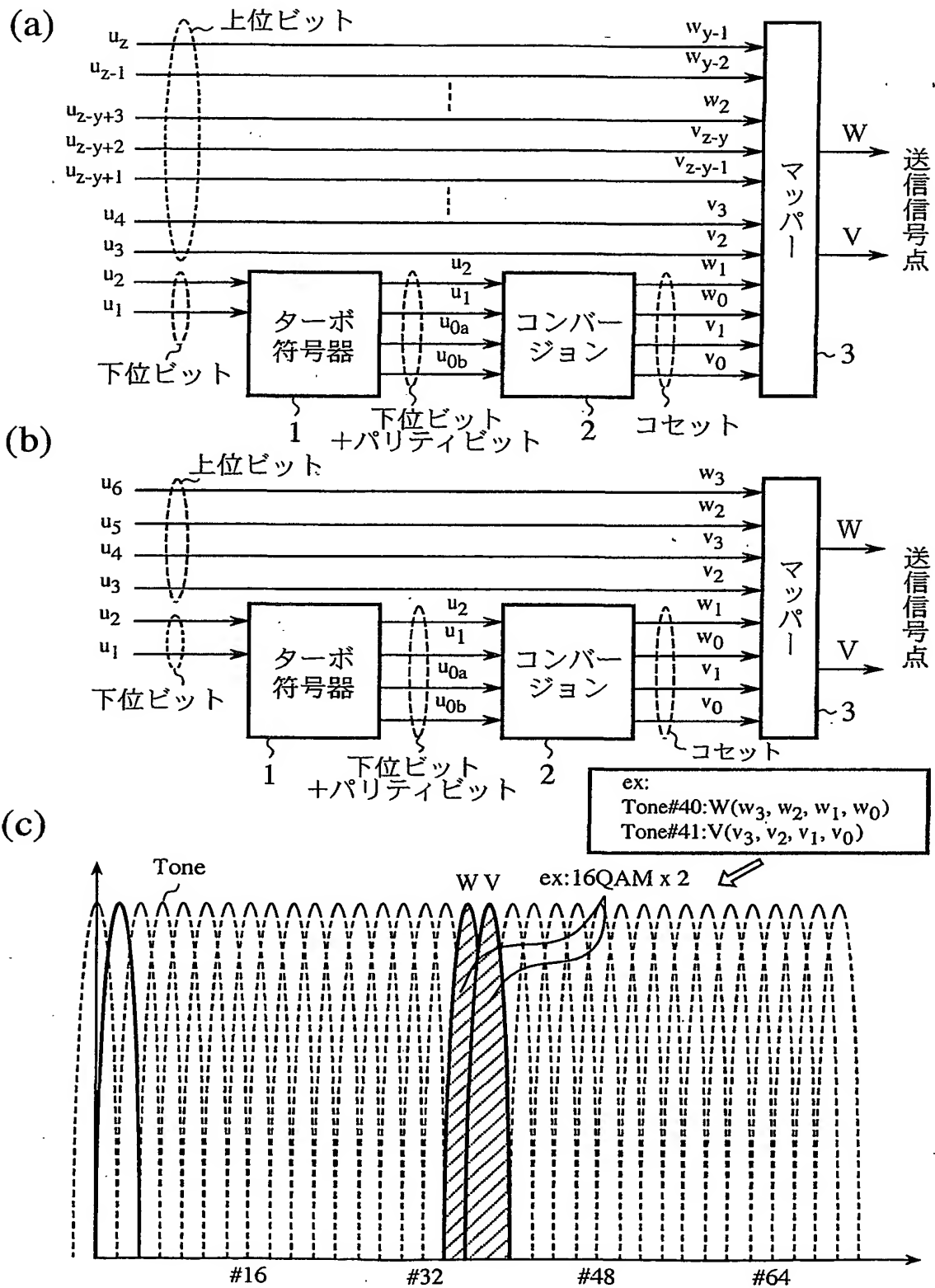


第1図



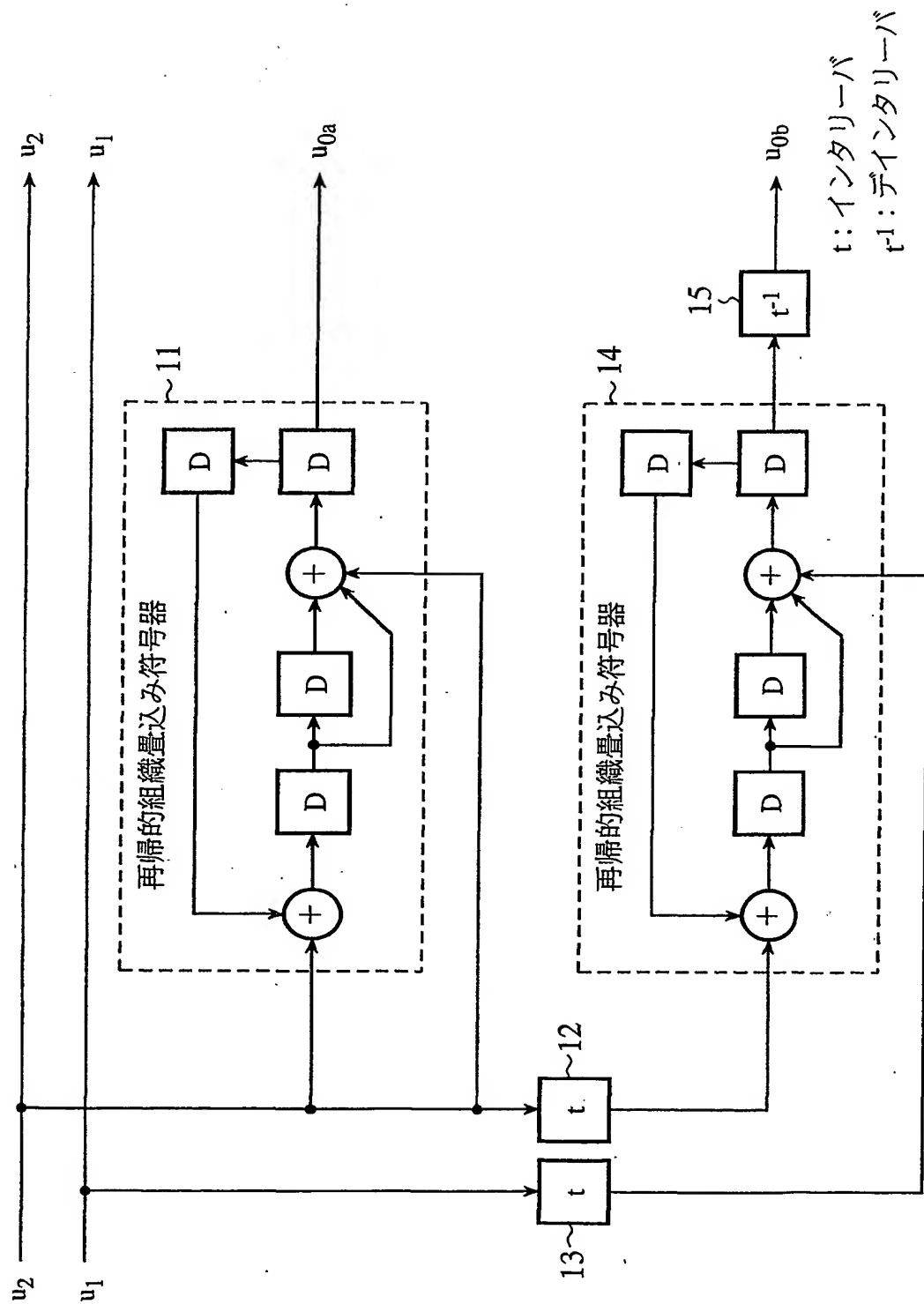
**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

## 第2図



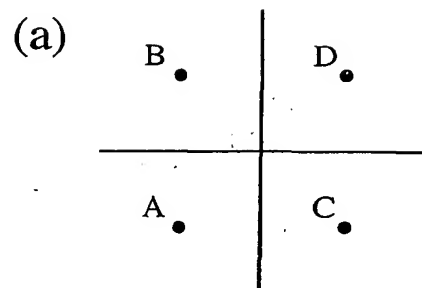
THIS PAGE BLANK (USPTO)

第3図



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

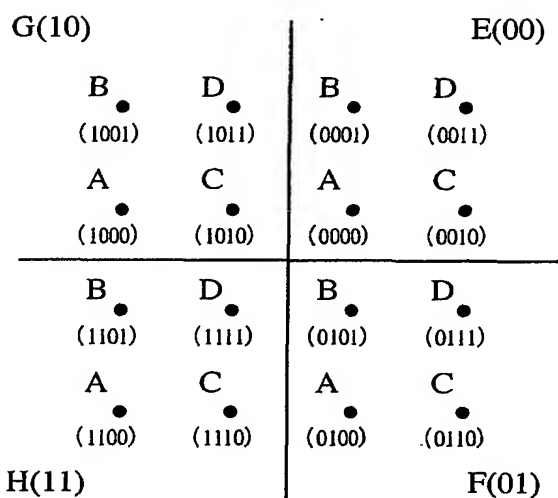
## 第4図



(d)

コセット	$w_1$	$w_0$
A	0	0
B	0	1
C	1	0
D	1	1

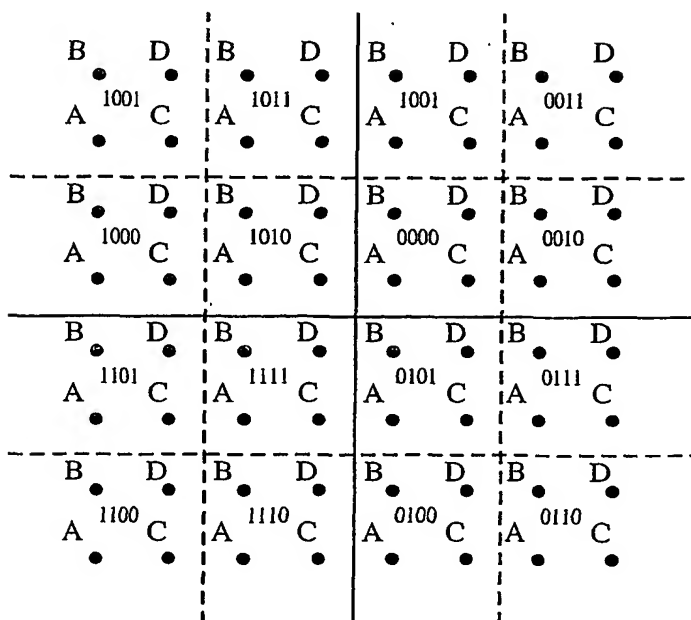
(b)



(e)

上位配置	$w_3$	$w_2$
E	0	0
F	0	1
G	1	0
H	1	1

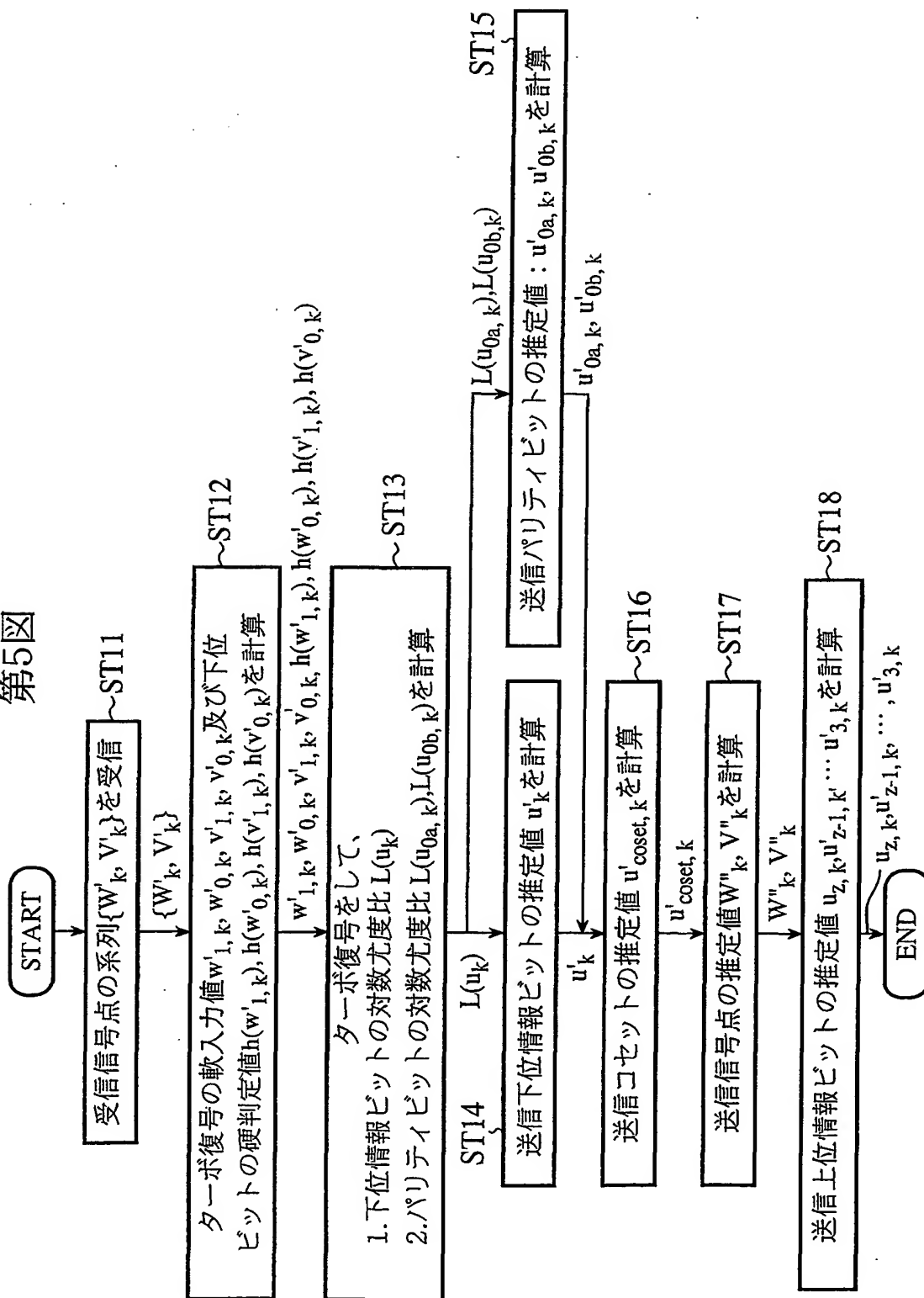
(c)



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

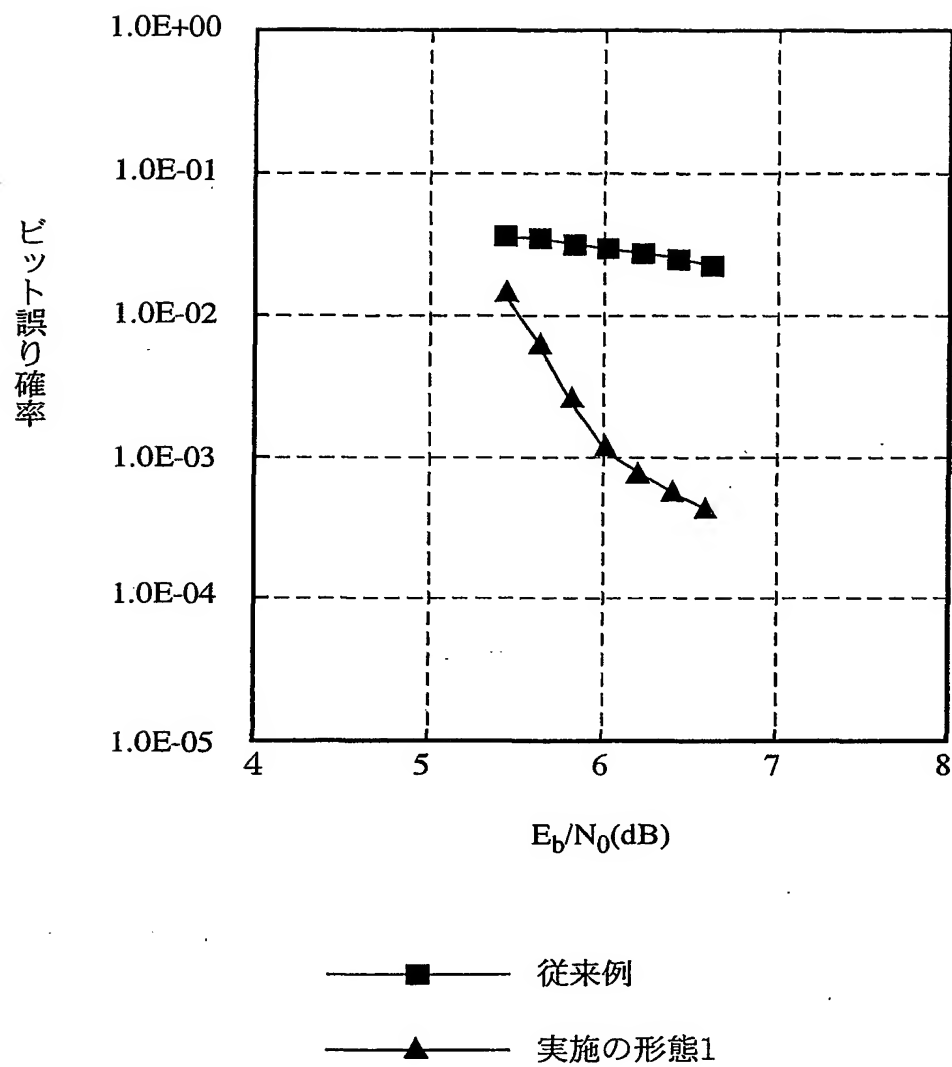


第5図



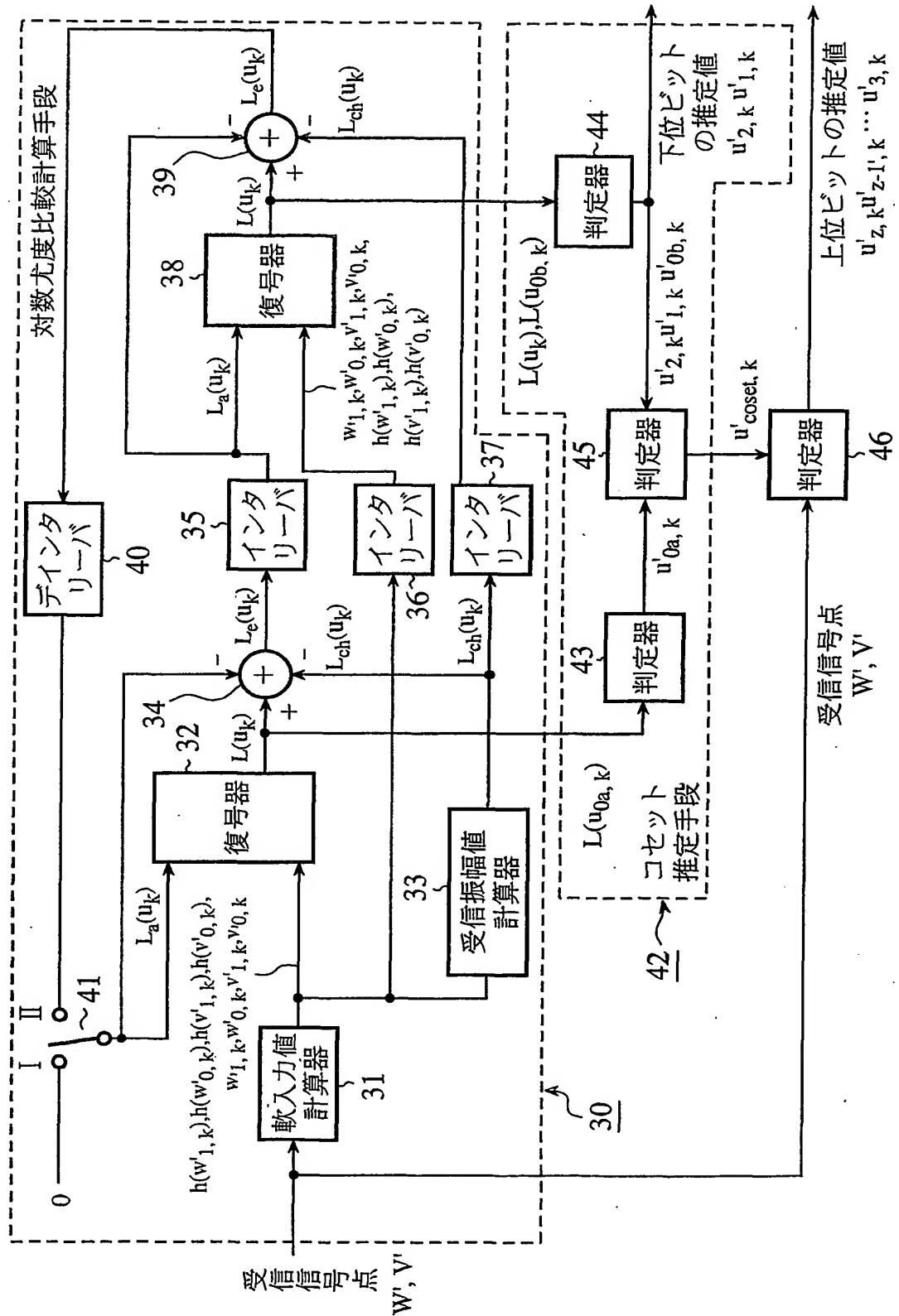
THIS PAGE BLANK (USPTO)

第6図



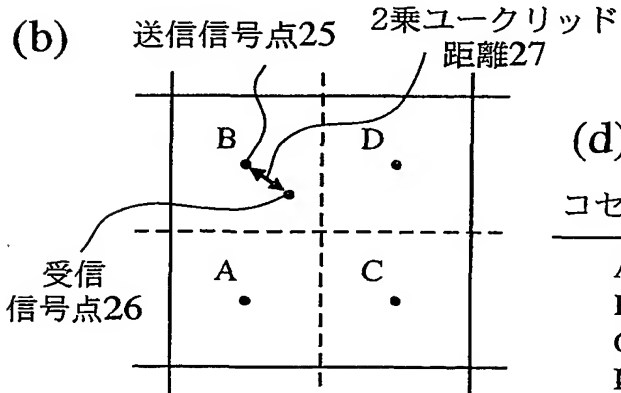
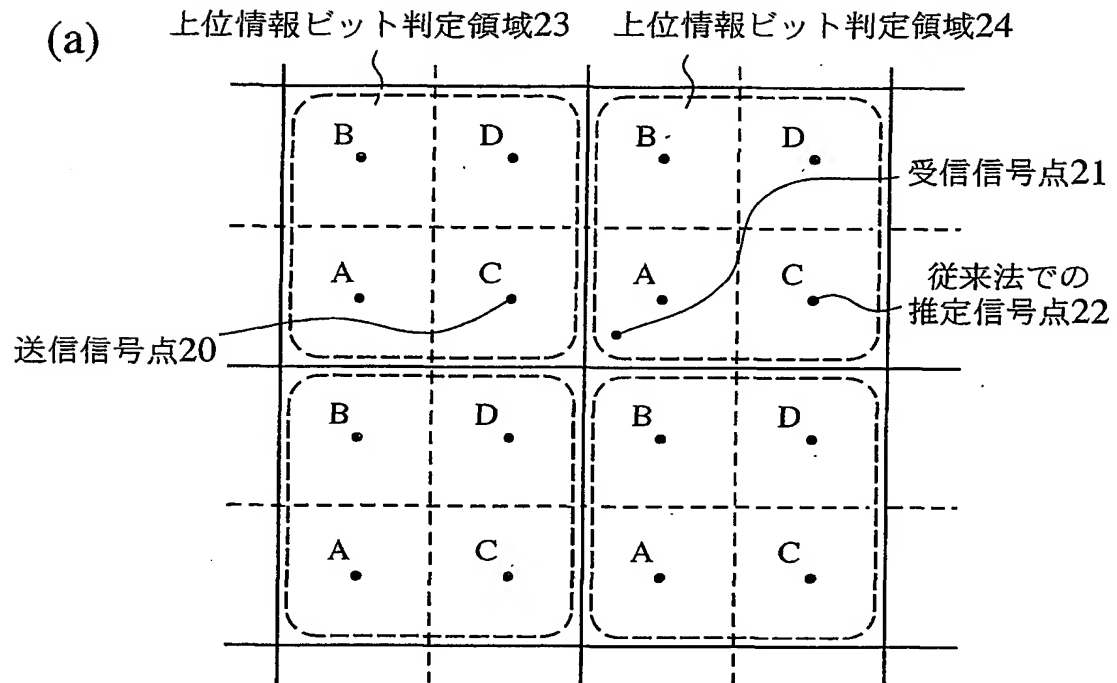
**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

第7図



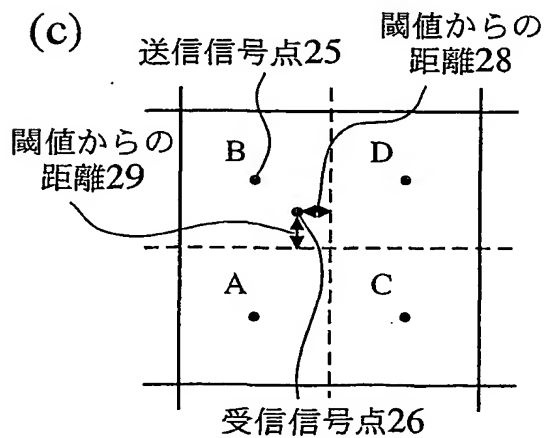
**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

## 第8図



(d)

コセット	$h(w'_{1,k})$	$h(w'_{0,k})$
A	0	0
B	0	1
C	1	0
D	1	1



コセット	$h(v'_{1,k})$	$h(v'_{0,k})$
A	0	0
B	0	1
C	1	0
D	1	1

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**